

RANCANG BANGUN SIMULATOR SINKRONOSKOP GENERATOR SINKRON PARAREL BERBASIS MIKROKONTROLER AT MEGA 2560



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

MUHAMMAD DAVID WIBOWO

D400170014

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN SIMULATOR SINKRONOSKOP GENERATOR
SINKRON PARAREL BERBASIS MIKROKONTROLER AT MEGA 2560**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

MUHAMMAD DAVID WIBOWO

D400170014

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Aris Budiman, S.T., M.T.

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN SIMULATOR SINKRONOSKOP GENERATOR
SINKRON PARAREL BERBASIS MIKROKONTROLER AT MEGA 2560**

OLEH

MUHAMMAD DAVID WIBOWO

D400170014

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 5 Agustus 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

**1. Aris Budiman, ST.MT
(Ketua Dewan Penguji)**

()

**2. Tindyo Prasetyo, ST.MT
(Anggota I Dewan Penguji)**

()

**3. Agus Ulinuha, PhD
(Anggota II Dewan Penguji)**

()

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK. 892

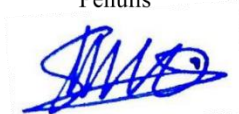
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 25 Juli 2021

Penulis



MUHAMMAD DAVID WIBOWO

D400170014

RANCANG BANGUN SIMULATOR SINKRONOSKOP GENERATOR SINKRON PARAREL BERBASIS MIKROKONTROLER AT MEGA 2560

Abstrak

Di jaman modern seperti saat ini konsumsi energi listrik meningkat pesat dikarenakan banyak peralatan konvensional menggunakan sumber tenaga manusia sekarang berubah menjadi peralatan sistem kendali otomatis menggunakan sumber energi listrik. Oleh sebab itu perlu adanya suplai daya listrik yang besar dan tersedia secara kontinyu terutama pada sebuah industri yang beroperasi setiap hari. Umumnya industri yang menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai sumber energi listrik utama dapat dioperasikan secara bergantian atau bersama - sama secara paralel untuk mensuplai daya ke beban baik manual maupun secara otomatis. Pada saat kondisi tertentu seperti misalnya terjadi gangguan pada salah satu generator maupun pada saat pemeliharaan, suplai daya listrik ke beban tidak boleh terputus, maka diperlukan sistem sinkronoskop pada saat proses paralel generator. Dalam proses paralel generator dengan generator atau dengan sumber lain diperlukan persyaratan yaitu frekuensi, tegangan dan urutan fasa harus sama. Metode dalam pembuatan sistem ini dibagi menjadi dua bagian yaitu pertama perancangan perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari perancangan perangkat elektronika. Kedua, perancangan perangkat lunak (*software*) yang terdiri dari pemrograman sistem sinkronisasi generator sinkron menggunakan software arduino (IDE). Sistem sinkronisasi ini menggunakan Arduino ATmega 2560 sebagai pengontrol utama, untuk pembacaan nilai tegangan menggunakan sensor tegangan yang terdiri dari diode bridge serta metode *voltage divider*, serta beberapa sensor lainnya seperti sensor frekuensi menggunakan optocoupler PC817 serta sensor urutan fasa. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat simulator sinkronisasi dua buah generator sinkron berbasis mikrokontroler arduino ATmega 2560 yang proses sinkronisasi generator dapat dilakukan secara otomatis. Dari pengujian diperoleh hasil bahwa simulator yang di buat berfungsi dengan baik melakukan sinkronisasi mengaktifkan relay sebagai kontaktor saat frekuensi 51 Hz dan tegangan 3 volt pada masing-masing generator. Simulator sinkronoskop ini memiliki persentase error rata-rata sebesar 2,2 % untuk sensor tegangan dan 1,9 % untuk sensor frekuensi.

Kata Kunci: Arduino, energi, generator, listrik, mikrokontroler

Abstract

In modern times like today the consumption of electrical energy has increased rapidly because many conventional equipment using human resources has now turned into automatic control system equipment using electrical energy sources. Therefore it is necessary to have a large supply of electrical power and is available continuously, especially in an industry that serves every day. Industrial use that uses Diesel Power Plant (PLTD) as the main source of electrical energy can be operated alternately or together in parallel to supply power to loads either manually or automatically. In certain conditions, such as a disturbance in one of the generators or during maintenance, the electrical power to the load must not be cut off, so a synchronoscope system is needed when the generator parallel process is required. In the parallel process of a generator with a generator or with other sources, the requirements, namely the frequency, voltage and phase sequence must be the same. The method in making this system is divided into two parts. The first is hardware design, which consists of designing electronic devices. Second, the design of

software which consists of synchronous generator synchronization system programming using Arduino software (IDE). This system uses the Arduino ATmega 2560 as the main controller, for reading the voltage value using the diode bridge and *voltage divider* method, as well as several other sensors such as a frequency sensor using optocoupler PC817 and a phase sequence sensor. The purpose of this research is to design and make synchronization simulators of two synchronous generators based on the Arduino ATmega 2560 microcontroller which can be carried out automatically. From the test, it was found that the simulator that was made to function properly synchronized to activate the relay as a contactor at a frequency of 51 Hz and a voltage of 3 volts on each generator. This synchroscope simulator has an average error percentage of 2.2% for the voltage sensor and 1.9% for the frequency sensor.

Keywords: Arduino, electrical, energy, generator, microcontroller

1. PENDAHULUAN

Listrik menjadi salah satu sumber kehidupan bagi manusia. Kebutuhan listrik setiap tahunnya semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi yang semakin pesat. Banyaknya peralatan yang menggunakan daya listrik sebagai energi utama menjadi salah satu penyebab kebutuhan energi listrik terus menerus meningkat. Meningkatnya kebutuhan daya listrik harus diimbangi dengan peningkatan supply daya listrik yang memiliki kualitas daya yang baik. Parameter kualitas daya yang baik salah satunya adalah kontinuitas suplai daya yang mengalir dari *power station* ke beban listrik tidak terputus atau terjadi *blackout* (pemadaman listrik secara total). Untuk mengatasi terjadinya *blackout* pada sebuah sistem energi listrik maka perlu adanya back up energi listrik seperti baterai/aki maupun generator set atau sering disebut dengan genset sebagai energi cadangan ketika suplai energi listrik utama terputus.

Generator merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Cara kerja generator didasari oleh hukum Faraday, yaitu ketika di sekeliling kawat penghantar terjadi perubahan medan magnet maka kawat penghantar tersebut akan menghasilkan gaya gerak listrik (ggl) yang bersifat menentang perubahan medan magnet tersebut. Pada umumnya tipe generator dibagi menjadi tiga, yaitu yaitu generator DC, generator induksi, dan generator sinkron. Ketiga jenis generator tersebut dibedakan berdasarkan jenis output listriknya dan cara kerjanya.

Untuk mendapatkan daya yang lebih besar, maka dilakukan suatu operasi paralel generator yaitu dengan cara menggabungkan dua buah generator atau lebih secara bersamaan. Selain untuk mendapatkan daya listrik yang lebih besar, tujuan operasi ini adalah untuk efisiensi penghematan biaya pemakaian operasional serta biaya pembelian tambahan kapasitas generator yang bertujuan untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik pada suatu *power system*. Di dalam proses

sinkronasi generator perlu memperhatikan syarat-syarat tertentu. Syarat-syarat tersebut yaitu nilai amplitudo tegangan (V) , sudut fasa, urutan fasa dan frekuensi (f) antar generator yang hendak disinkronkan harus sama.

2. METODE

Dalam perancangan dan pembuatan penelitian *Rancang Bangun simulator Sinkronoskop Generator Sinkron Pararel Berbasis Mikrokontroler AT MEGA 2560* ini yang pertama dengan membuat kerangka kerja, dimana kerangka kerja tersebut akan menjelaskan secara garis besar urutan yang akan dilaksanakan. Dalam penelitian ini Mikrokontroler Arduino AT Mega 2560 berfungsi sebagai kontrol dari berbagai sensor-sensor yang digunakan. Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi berapa nilai tegangan yang ada pada setiap fasa generator. Kemudian sensor frekuensi berfungsi sebagai sensor yang mendeteksi jumlah besaran frekuensi pada generator. Dan sensor urutan fase berfungsi untuk mengetahui perbedaan urutan fase antara dua generator yang hendak di pararelkan. Penelitian ini memiliki beberapa metode, meliputi: lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, perancangan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak serta diagram alir penelitian.

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di rumah peneliti yang beralamatkan Ngemplak RT 02 RW 03, Gedangan, Grogol, Sukoharjo. Waktu penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan terhitung mulai bulan Februari 2021 sampai dengan selesai.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini membutuhkan alat dan bahan penunjang penelitian, sebagai berikut :

2.2.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan perangkat keras yaitu seperangkat komputer tipe ASUS X45U dengan processor AMD Phenom II Black Edition Quad-Core, RAM 2 GB, penyimpanan HDD 320 GB menggunakan OS Windows 7, kemudian menggunakan perangkat lunak (*software*) Proteus 8 Professional, CorelDraw X8 serta Arduino IDE untuk menuliskan, memverifikasi, men-debug, mengkompilasi, dan meng-upload program (sketch) dari komputer ke-board Arduino. Dan penyusunan laporan digunakan Microsoft Office 2016.

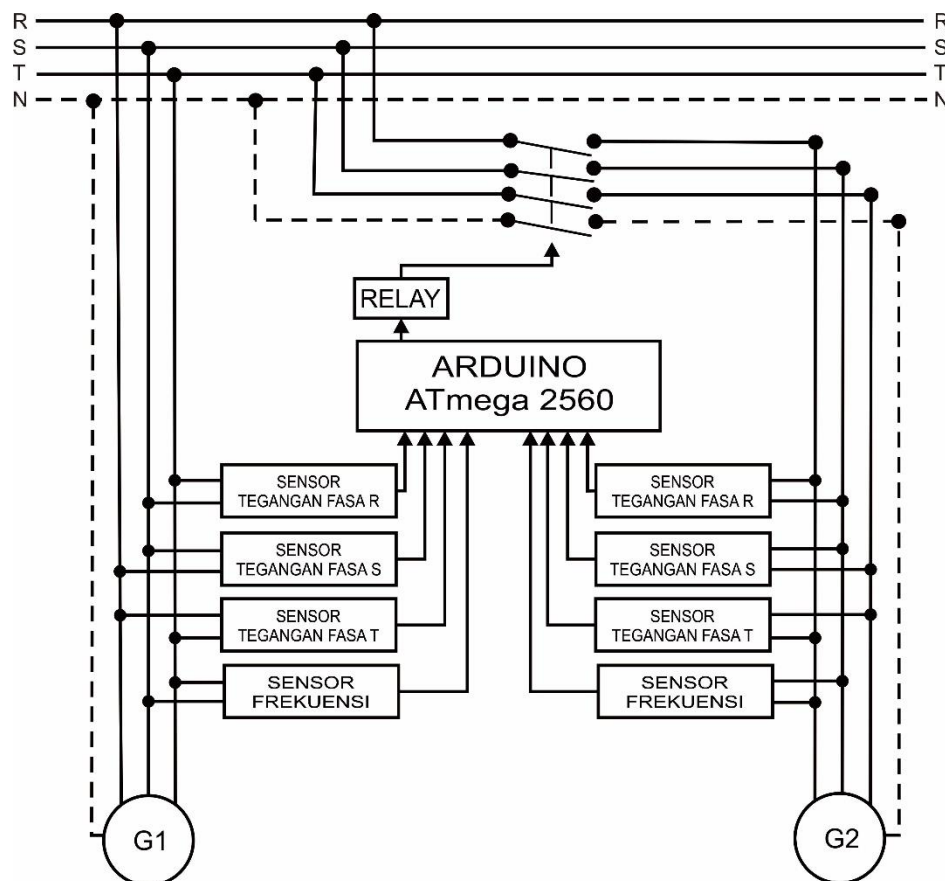
2.2.2 Bahan Penelitian

Beberapa Bahan atau komponen elektronika yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu motor sinkron, mikrokontroller AT Mega 2560 dalam minimum sistem Arduino, komponen elektronika daya, sensor tegangan, sensor frekuensi dan relay optocoupler.

2.3 Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan dan pembuatan rancang bangun simulator sinkronoskop generator sinkron paralel berbasis mikrokontroller Atmega 2560. Rancang bangun simulator ini nantinya akan digunakan untuk memonitoring dan melakukan sinkronasi dua buah generator yang dipararelkan.

Sistem blok diagram yang digunakan pada perancangan sistem simulator sinkronoskop pada penelitian ini ada pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 1. Blok Diagram perancangan sistem

Cara kerja rangkaian adalah sebagai berikut :

Data pengukuran tegangan dan frekuensi didapatkan dari pembacaan sensor tegangan dan frekuensi. Sensor tegangan mengirim sinyal masukan berupa tegangan dengan range dari 0-5 Volt DC ke arduino ATmega 2560. Begitu pula dengan sensor frekuensi menggunakan PC817 *optocoupler* dimana sensor tersebut mengkonversi frekuensi sebagai inputan menjadi nilai tegangan DC yang digunakan sebagai input pada Arduino Atmega 2560.

Data hasil pembacaan sensor kemudian diteruskan ke mikrokontroler Arduino, dengan komunikasi serial data yang akan di kirimkan ke memori Atmega 2560 sebagai *processor* arduino mega tersebut untuk diolah. Setelah frekuensi, tegangan, dan urutan fasa antara kedua generator sama maka

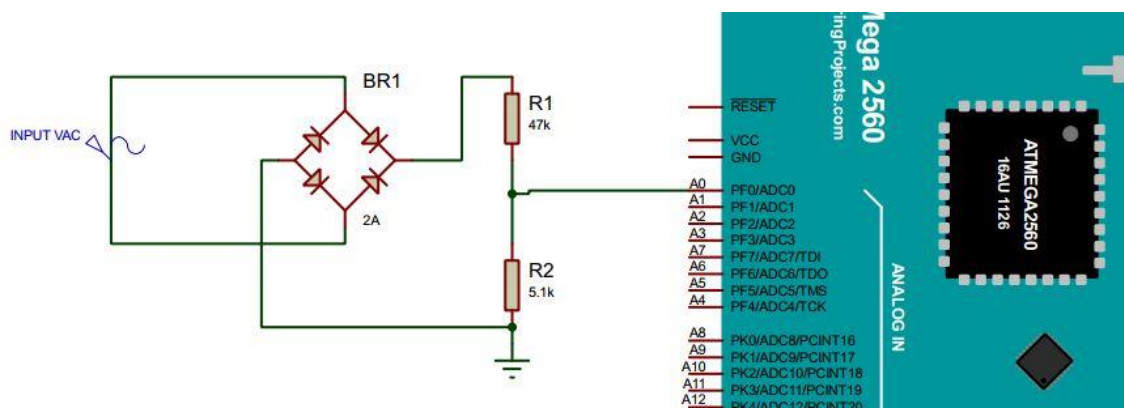
Arduino akan memberi perintah pada penggerak relay yang berfungsi sebagai kontaktor untuk menutup sehingga kedua generator tersebut akan terhubung dan menghasilkan daya yang lebih besar dari semula atau sebelum terjadinya proses sinkronisasi.

2.3.1 Perancangan rangkaian pada sensor tegangan dan sensor frekuensi

Penelitian ini menggunakan dua buah sensor utama yaitu sensor tegangan dan sensor frekuensi yang hasil dari pembacaan sensor tersebut digunakan sebagai parameter keberhasilan terciptanya proses sinkronisasi pada generator. Kedua sensor ini sangat penting untuk menentukan berhasil atau tidaknya proses sinkronisasi generator. Untuk sensor tegangan akan dibuat sebanyak 6 sensor dan dua sensor frekuensi. Berikut perancangan kedua sensor tersebut :

a. Rangkaian Sensor Tegangan dengan *Voltage Divider*

Sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu rangkaian elektronika pembagi tegangan atau dapat disebut dengan *Voltage Divider*. Pada skema rangkaian sensor tegangan ini tidak menggunakan trafo tegangan step down penurun tegangan karena output yang dihasilkan oleh generator tidak sampai 220 volt sehingga tidak perlu menggunakan trafo step down. Tegangan output dari generator yang sebelumnya telah diubah menjadi tegangan DC selanjutnya akan diukur masuk ke rangkaian pembagi tegangan melalui R1 dan R2. Rangkaian ini akan membagi tegangan yang dihasilkan generator dengan persamaan (2.1). Tegangan pada R2 (VR) dihubungkan pada Arduino untuk masuk dan dibaca oleh analog input (A1) pada mikrokontroler. Pada output tegangan ini masih memiliki tegangan negatif yang berasal dari gelombang AC, sehingga diperlukan tambahan komponen dioda untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Output yang di harapkan pada rangkaian sensor tegangan ini adalah kurang lebih 4 volt atau maksimum 5 volt.



Gambar 2. Rangkaian sensor tegangan

Perhitungan untuk rangkaian pembagi tegangan adalah :

$$V_{out} = \frac{R2}{R1+R2} \times V_{in} \quad (1)$$

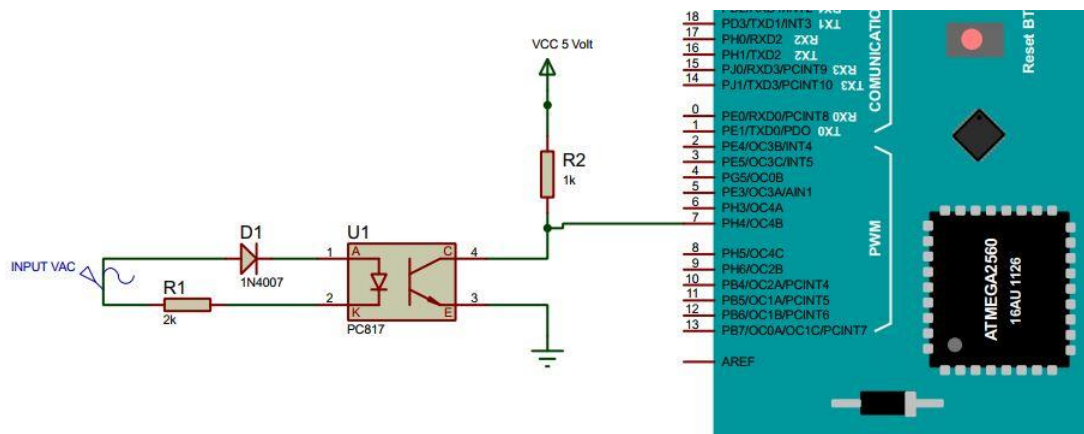
Resistor yang digunakan pada rangkaian ini yaitu $R_1 = 47.000 \text{ ohm}$ $R_2 = 5.000 \text{ ohm}$, dengan V_{in} sebesar 40 volt tegangan keluaran yang diinginkan 4 volt. Berdasarkan konfigurasi resistor yang digunakan maka perhitungan V_{out} sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{In} \\ &= \frac{5.100}{47.000 + 5.100} \times 40 \\ &= 0,0978886756 \times 40 \\ &= 3,9155 \text{ volt} \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan nilai R_1 sebesar 47.000 ohm dan R_2 sebesar 5.000 ohm maka output dari pembagi tegangan tersebut yaitu sekitar sebesar 4 volt. Oleh sebab itu maka output sensor yang dapat dibaca oleh analog input dan selanjutnya akan diproses pada Arduino ATmega 2560.

b. Rangkaian Sensor Frekuensi

Sensor Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan rangkaian *optocoupler* PC817. Sensor ini akan membaca setiap perubahan frekuensi pada kedua generator. Frekuensi pada generator yang masuk ke sensor akan dikonversikan ke dalam bentuk tegangan dc supaya dapat terbaca oleh Arduino. Tegangan dc yang digunakan sebagai input pada Arduino ini berasal dari tegangan AC yang disearahkan oleh dioda menjadi tegangan dc setengah gelombang yang digunakan sebagai input PC817 *optocoupler*. PC817 *optocoupler* menghasilkan output tegangan dc sebagai fungsi frekuensi yang selanjutnya akan dibaca oleh Arduino. PC817 *Optocoupler* ini merupakan komponen semi konduktor atau terdiri dari LED (Ligh Emitting Diode) yang sensitif terhadap arus yang masuk sehingga pada pada input PC817 di pasang resistor sebagai penghambat arus yang bertujuan agar komponen LED yang ada di dalam PC817 tidak mengalami kerusakan karena arus yang berlebih.



Gambar 3. Rangkaian sensor frekuensi

2.3.2 Perancangan kontrol relay dan Arduino

Pada bagian rancangan ini terdapat Relay dan Arduino sebagai sistem kontrol simulator sinkronoskop. Penjelasan masing – masing bagian yaitu :

a. Relay

Relay yang digunakan adalah relay optocoupler yang digunakan untuk menggerakkan kontaktor. Secara fungsi relay optocoupler ini berfungsi sebagai mcb untuk mempararel generator upcoming dengan bus bar.



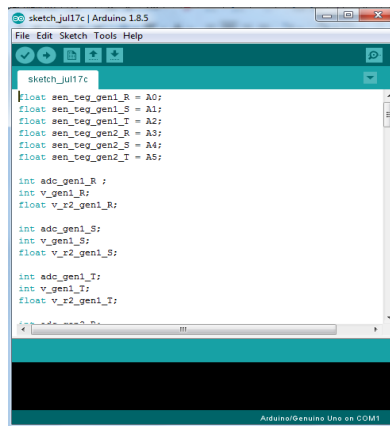
Gambar 4. Relay optocoupler 4 chanel

b. Pemrograman untuk mikrokontroller ATmega 2560 (Arduino)

Mikrokontroller ATmega 2560 yang terdapat pada minimum sistem Arduino menggunakan bahasa pemrograman processing. Proccesing yaitu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dialeknya sangat mirip dengan C++ dan Java. Software minimum sistem Arduino meliputi IDE untuk menulis program, *driver* untuk koneksi dengan komputer, contoh program dan *library* untuk pengembangan program.

IDE Arduino merupakan software yang ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari : Editor program, dan Compiler. Editor program merupakan sebuah window yang digunakan untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa Processing. Kemudian Compiler adalah sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa Processing) menjadi kode biner.

Sebuah mikrokontroller tidak akan bisa memahami bahasa Processing. Yang bisa dipahami oleh mikrokontroller yaitu kode biner. Oleh sebab itu *compiler* diperlukan dalam hal ini. *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori di dalam papan Arduino.



Gambar 5. Tampilan IDE arduino

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Di dalam bab ini akan dibahas mengenai pengujian berdasarkan pada perencanaan sistem yang telah dirancang. Proses pengujian ini dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui kehandalan serta kesesuaian sistem dan untuk mengetahui apakah telah sesuai dengan perencanaan atau belum berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh sensor frekuensi, tegangan dan urutan fasa saat terjadinya sinkronisasi, kemudian setelah sinkron akan dilakukan penyambungan secara otomatis dan manual antara kedua generator sinkron.

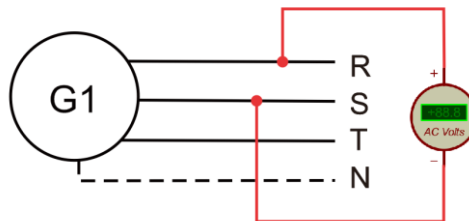
Untuk mengetahui kinerja dari sistem yang telah di rancang pada penelitian ini, maka perlu dilakukan beberapa pengujian yang terbagi menjadi dua bagian yaitu yang pertama pengujian dilakukan secara terpisah dan kemudian setelah itu dilakukan pengujian ke dalam sistem yang telah terintegrasi. Pengujian meliputi pengujian software (perangkat lunak) dan pengujian hardware (perangkat keras). Berikut ini merupakan proses pengujian yang dilakukan pada penelitian ini :

1. Pengujian output tegangan yang dihasilkan oleh motor generator sinkron
2. Pengujian rangkaian sensor tegangan
3. Pengujian rangkaian sensor frekuensi
4. Pengujian coding sebagai kontrol sinkronisasi
5. Pengukuran dan pengujian keseluruhan sistem

3.1 Pengujian motor generator sinkron

Pengujian yang pertama pada penelitian ini adalah melakukan pengujian terhadap motor generator. Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis motor listrik yang memiliki fungsi yang berbeda. Motor jenis pertama yaitu motor brushless tipe 2212 yang berfungsi sebagai motor prime over atau penggerak rotor pada generator. Kemudian motor jenis ke dua yaitu motor BLDC 3 fasa tipe A0R5M1030 yang berfungsi sebagai Alternator. Untuk mengetahui besaran output tegangan yang di hasilkan di setiap putaran rotor nya, maka pengujian dilakukan pada kedua motor generator tersebut.

Pengujian di lakukan menggunakan multimeter dan tachometer. Multimeter adalah alat yang digunakan untuk mengetahui nilai tegangan yang dihasilkan oleh motor generator. kemudian tachometer adalah alat yang berfungsi untuk mengetahui besaran nilai putaran rotor pada generator pada setiap satuan waktu. Berikut rangkaian pengujian motor generator :



Gambar 6. Rangkaian pengujian motor generator

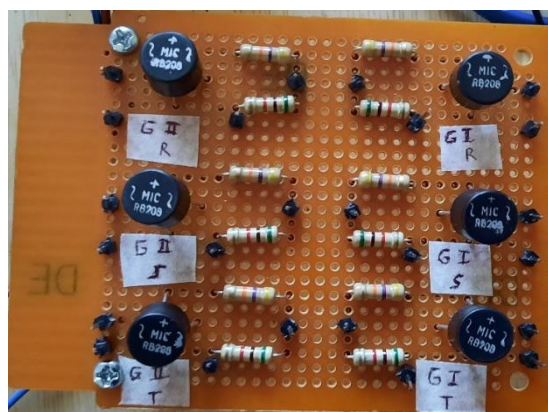
Pengujian tegangan keluaran pada generator dilakukan dengan memvariasikan frekuensi generator dengan cara mengubah-ubah kecepatan putar atau arus eksitasi pada motor generator.

Tabel 1. Nilai tegangan di setiap putaran

NO	Tegangan Output	RPM	
		Generator 1	Generator 2
1.	10 V	1976	2047
2.	20 V	3958	4180
3.	30 V	5925	6295
4.	40 V	7828	8195

3.2 Pengujian pada rangkaian sensor tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai keluaran sensor yang presisi. Pada rangkaian ini tidak menggunakan transformator step down dikarenakan output tegangan yang dihasilkan oleh generator yaitu 40 volt AC. Tegangan output generator kemudian dilakukan proses *rectifier* untuk mengubah tegangan AC menjadi DC kemudian setelah itu menjalani proses pembagian tegangan agar dapat di baca oleh analog input pada Arduino.



Gambar 7. Sensor tegangan

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dari keluaran sensor dengan nilai tegangan input yang berbeda-beda (0-40 V) dengan output dari sensor tegangan dengan maksimal tegangan sebesar 4V DC. Tegangan yang masuk ke dalam sensor di ubah-ubah menggunakan servo tester yang berfungsi sebagai sinyal input penggerak kecepatan motor DC sebagai *prime mover* generator, sehingga semakin besar tegangan input pada sensor maka tegangan outputnya juga akan semakin besar.

Pada proses *rectifier* ini perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas tegangan yang telah dikonversikan dari tegangan AC menjadi tegangan DC. Pengujian dilakukan dengan mengubah-ubah input tegangan yang masuk sebelum rangkaian *rectifier* dengan rentang tegangan 0 hingga 40 volt. Pada sisi input dan output rangkaian *rectifier* dihubungkan dengan voltmeter.

Tabel 2. Pengujian Rectifier

No	Tegangan <i>Input</i> AC (volt)	Tegangan <i>Output</i> DC (volt)	Error (%)
1	2	1	50,00
2	4	2	50,00
3	6	4	33,33
4	8	5.5	31,25
5	10	8	20,00
6	12	9	25,00
7	14	11	21,43
8	16	12.5	21,88
9	18	14	22,22
10	20	16.5	17,50
11	22	20.5	6,82
12	24	22.5	6,25
13	26	24	7,69
14	28	26	7,14
15	30	28	6,67
16	32	30	6,25
17	34	32	5,88
18	36	34	5,56
19	38	35.5	6,58
20	40	36.5	8,75
Rata-rata			18,01

Berdasarkan pada tabel di atas, rata-rata presentase *error* dari pengujian *rectifier* sebesar 18,01 %.

3.2.1 Pengujian pada sensor tegangan fasa R,S dan T pada generator 1

Pengujian tegangan fasa R,S dan T pada generator 1 ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pengukuran antara tegangan input AC yang terukur mencapai 40 volt pada voltmeter analog dengan tegangan DC yang terbaca pada Arduino dengan besar tegangan maksimal 4 volt DC.

Tabel 3. Nilai tegangan fasa R,S dan T pada sensor generator 1

No	Tegangan Input (Vac)	Tegangan Output (Vdc)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	2	0.2	0.2	0.2
2	4	0.3	0.4	0.5
3	6	0.4	0.6	0.7
4	8	0.6	0.8	0.8
5	10	0.8	1	1
6	12	1	1.2	1.2
7	14	1.2	1.4	1.4
8	16	1.3	1.5	1.5
9	18	1.4	1.6	1.6
10	20	1.6	1.8	1.8
11	22	1.7	2	2
12	24	1.9	2.1	2.2
13	26	2	2.3	2.3
14	28	2.2	2.4	2.4
15	30	2.3	2.6	2.6
16	32	2.4	2.8	2.8
17	34	2.5	2.9	3
18	36	2.6	3.1	3.2
19	38	2.8	3.3	3.3
20	40	3	3.5	3.5

3.2.2 Pengujian sensor tegangan fasa R,S dan T pada generator 2

Pengujian sensor tegangan fasa R,S dan T pada generator 2 dilakukan untuk mengetahui output tegangan DC yang terbaca pada sensor ketika mendapatkan tegangan input AC yang berasal dari output generator 2. Tabel 3.4 memperlihatkan hasil baca sensor setelah diberikan tegangan input AC.

Tabel 4. Nilai tegangan sensor pada generator 2 fasa R,S dan T

No	Tegangan Input (Vac)	Tegangan Output (Vdc)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	2	0.2	0.2	0.2
2	4	0.4	0.4	0.4
3	6	0.6	0.6	0.6
4	8	0.8	0.8	0.8
5	10	1	1	0.9
6	12	1.1	1.1	1.1
7	14	1.2	1.2	1.2
8	16	1.4	1.4	1.4
9	18	1.6	1.6	1.6

10	20	1.8	1.8	1.8
11	22	2	2	2
12	24	2.1	2.1	2.1
13	26	2.2	2.2	2.3
14	28	2.4	2.4	2.4
15	30	2.6	2.6	2.6
16	32	2.8	2.8	2.8
17	34	2.9	2.9	2.9
18	36	3.1	3.1	3
19	38	3.2	3.3	3.2
20	40	3.5	3.5	3.5

3.2.3 Pengujian akurasi sensor tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi dari sensor tegangan dengan cara membandingkan antara nilai tegangan yang terbaca pada *serial monitor* Arduino dengan alat ukur multimeter digital merk HIOKI 3286-20. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat diketahui bahwa sensor tegangan yang dibuat dapat dikatakan layak atau tidak, dengan melihat rata-rata *error* pada pembacaan sensor tegangan tersebut. Namun penggunaan voltmeter digital pada pengujian ini mempunyai kekurangan yaitu memiliki *delay* pada saat melakukan pembacaan tegangan, berbeda dengan voltmeter analog yang dapat melakukan pembacaan secara *real time*.

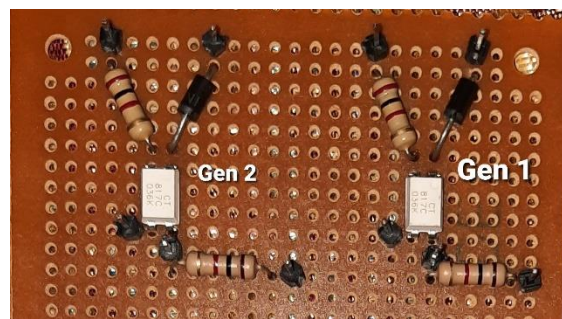
Tabel 5. Hasil perbandingan sensor tegangan terhadap alat ukur (voltmeter)

No	Tegangan terbaca pada voltmeter HIOKI 3286-20 (Volt)	Tegangan terbaca pada <i>serial monitor</i> Arduino (Volt)	<i>Error</i> (%)
1.	4,4	4,3	2,2
2.	8,2	8,4	2,4
3.	12,3	12,7	3,2
4.	16,2	16,4	1,2
5.	20,8	21,3	2,4
6.	24	24,2	0,8

7.	28,5	27,6	3,1
8.	32,8	31,7	3,3
9.	38,5	38,9	1,03
10.	40,1	39,8	0,7
Rata-rata <i>error</i>			2,2

3.3 Pengujian pada rangkaian sensor frekuensi

Pengujian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui tingkat akurasi, kehandalan serta kesesuaian sensor terhadap frekuensi pada generator. Pengujian dilakukan dengan membandingkan frekuensi yang terbaca pada serial monitor Arduino dengan frekuensi meter pada clampmeter digital merk HIOKI 3286-20. Untuk mendapatkan frekuensi yang bervariasi pada generator maka dilakukan dengan cara mengubah-ubah kecepatan putar rotor pada generator.



Gambar 8. Sensor Frekuensi

PC817 *Optocoupler* ini merupakan komponen elektronika yang dapat digunakan sebagai sensor untuk mengetahui suatu frekuensi dengan merubah tegangan AC menjadi sebuah pulsa dengan tegangan kerja 5 volt DC sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler Arduino. PC817 *Optocoupler* prinsipnya adalah merubah input berupa frekuensi menjadi output berupa tegangan yang masuk ke input I/O Digital pada Arduino. Seberapa besar nilai frekuensi yang terbaca pada Arduino bergantung pada sebuah *function* pulseIn yang terdapat pada bahasa pemrograman Arduino. *Function* ini berguna untuk menghitung panjang gelombang sebuah pulsa (gelombang kotak) level digital yang masuk ke pin digital Arduino dengan menggunakan rumus membagi periode yaitu $F=1/T$. Untuk mengetahui periode gelombang (T) yaitu berdasarkan seberapa lama pulsa di saat kondisi HIGH (1) dan seberapa lama pulsa saat kondisi LOW (0).

Pada penelitian ini menggunakan dua buah sensor frekuensi PC817 *Optocoupler*, sensor frekuensi yang pertama berfungsi untuk membaca frekuensi dari generator 1 dan sensor frekuensi yang kedua digunakan untuk membaca frekuensi dari generator 2 yang sifat nya sebagai generator incoming.

Tegangan output dari sensor dibaca oleh arduino dan ditampilkan pada *serial* Arduino IDE. sensor frekuensi yang dibuat dapat membaca frekuensi dari 40 hingga 70 Hz.

Tabel 6. Nilai frekuensi input dan tegangan output

No	Tegangan Output (VAC)	Frekuensi pada alat ukur clampmeter (Hz)	Frekuensi pada <i>serial monitor</i> Arduino (Hz)	Error (%)
1	5,6	70	72	2,7
2	4,8	60	62	3,2
3	3,9	50	51	1,9
4	3,2	40	40	0
Rata-rata <i>error</i>				1,9

Tabel 3.6 menunjukkan bahwa sensor yang di buat memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dengan rata-rata error yaitu 1,9 %.

3.4 Pengujian dan pengukuran pada keseluruhan sistem

Pengukuran dan pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari setiap perangkat yang telah dirancang mulai dari perangkat keras berupa sensor-sensor untuk pengukuran, dan perangkat lunak berupa kontrol pemrograman yang dirancang pada PC, apakah sistem tersebut dapat bekerja sesuai dengan apa yang telah diharapkan.

Perangkat yang telah dibuat pada kedua generator sinkron akan dihubungkan secara paralel. Pengukuran dan pengujian keseluruhan sistem ini meliputi pengukuran nilai tegangan 3 fasa dan frekuensi pada generator 1 dan generator 2. Berdasarkan arah putaran rotor generator telah diketahui keduanya berputar searah jarum jam maka dapat dipastikan urutan fasa pada kedua generator tersebut adalah sama yaitu ABC/RST, BCA/STR dan CAB/TRS. Oleh sebab itu maka tidak diperlukan sensor urutan fasa pada kedua generator.

Untuk mengetahui keandalan serta karakteristik sistem dalam proses sinkronisasi antara generator 1 dan generator 2 maka dilakukan percobaan sebanyak 5 kali menggabungkan kedua generator tersebut.

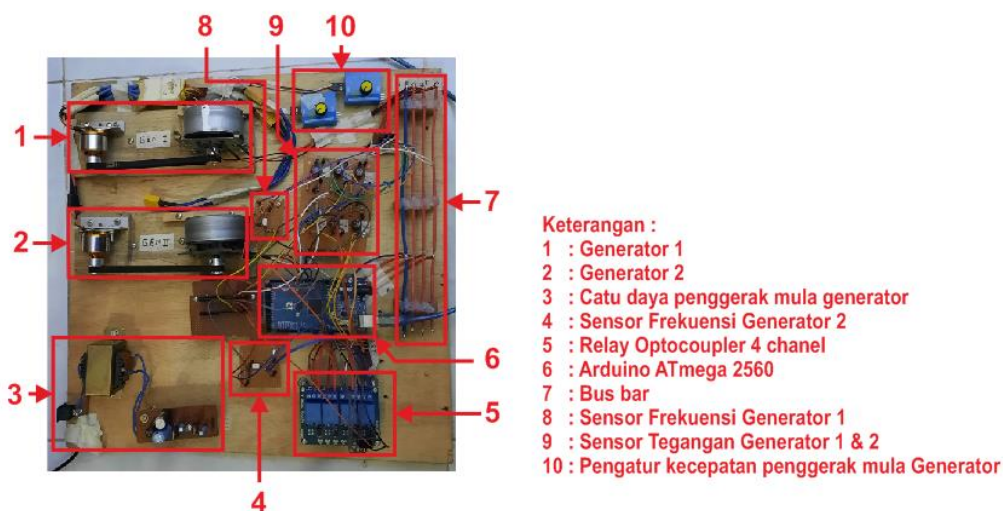
Tabel 7. Data sinkronisasi generator 1 dengan generator 2

Percobaan	Generator 1		Generator 2		Hasil	Tegangan ketika sinkron
	Tegangan	Frekuensi	Tegangan	Frekuensi		
Pertama	3 Volt	60 Hz	2 Volt	49 Hz	Tak Sinkron	-
Kedua	2 Volt	50 Hz	4 Volt	57 Hz	Tak Sinkron	-
Ketiga	3 Volt	46 Hz	3 Volt	46 Hz	Sinkron	3,5 Volt
Keempat	3 Volt	47 Hz	3 Volt	47 Hz	Sinkron	3,6 Volt

Kelima	3 Volt	51 Hz	3 Volt	51 Hz	Sinkron	3,9 Volt
--------	--------	-------	--------	-------	---------	----------

Data tabel 3.7 diatas menunjukkan bahwa parameter harus terpenuhi yaitu tegangan, frekuensi dan urutan fasa untuk menghidupkan kontaktor pada relay sehingga generator 1 dan generator 2 dapat dinyatakan sinkron. Tegangan ketika kedua generator berhasil dilakukan sinkronisasi terjadi kenaikan tegangan atau perbedaan tegangan rata-rata sebesar 0,18 % dari sebelum terjadi sinkronisasi. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan hasil pengukuran sensor tegangan dengan alat ukur multimeter HIOKI 3286-20 berdasarkan hasil pengujian tegangan memiliki rata-rata *error* sebesar 2,2 %.

Hasil rangkaian perangkat keras simulator sinkronoskop yang digunakan pada pengujian keseluruhan sistem ini dapat di lihat pada Gambar 3.4 dibawah ini :



Gambar 9. Perangkat keras simulator sinkronoskop

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang telah dilakukan, mengacu berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Program yang telah dirancang pada komputer menggunakan aplikasi arduino IDE dapat menampilkan nilai hasil pengukuran secara *real time*. Berdasarkan data pengukuran tersebut sistem dapat mengaktifkan relay secara otomatis sebagai saklar untuk menghubungkan antara generator satu dengan generator dua.
2. Pengukuran nilai tegangan dan frekuensi pada Arduino dengan alat ukur analog memiliki persentase *error* rata-rata sebesar 2,2 % untuk sensor tegangan dan 1,9 % untuk sensor frekuensi.
3. Nilai tegangan setelah kedua generator berhasil dilakukan sinkronisasi, tegangan pada bus bar mengalami kenaikan atau perbedaan tegangan rata-rata sebesar 0,18 %

4.2 Saran

Di dalam proses penelitian sebagai tugas akhir dalam menyelesaikan studi S1 ini tentunya tidak terlepas dari adanya kekurangan, baik pada sistem *software* maupun pada peralatan *hardware* yang telah di buat. Oleh sebab itu penulis mendapatkan berbagai saran dari beberapa pihak sebagai berikut:

1. Memilih secara tepat komponen yang digunakan sehingga memudahkan pada saat proses penelitian serta efisien waktu dan biaya.
2. Dapat dipergunakan sebagai tambahan bahan ajar atau modul praktikum Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.

PERSANTUNAN

Jika diperlukan, ucapan persantunan dapat disertakan kepada pihak-pihak yang telah memberi bantuan untuk penelitian skripsi dan penulisan artikel ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Antono, D., & Khambali, M. (2013). Penerapan Sinkronisasi Jaringan Listrik Tiga Fasa PLN dengan Generator Sinkron Menggunakan Trainer Power Sistem Simulation. JTET (Jurnal Teknik Elektro Terapan), 2(3).
- Citarsa, I.B.F., 2013, ” Buku Ajar Mata Kuliah Mesin Listrik I” , Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Efendi, M, 2012. Rancang Bangun Alat Sinkronisasi Otomatis Sistem Jaringan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan Sistem Jaringan PLN
- Graha, Setia, 2012. Power management PLN-Genset pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin. Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin.
- Michael J. Thompson (March 2012). Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems, SEL Journal of Reliable Power, Volume 3, Number 1.
- Nurchahyo, A, Chusn. Y, Ningsih. S, 2012. Sinkronisasi dan pengamanan modul generator LAB-TST berbasis PLC (Software). Jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).
- Prasetya. T, Yahya. C. A, Ningsih. S, 2012. Sinkronisasi dan pengamanan modul generator LAB-TST berbasis PLC (Hardware). Jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).
- Saputra, E. (2016). Studi Sistem Sinkronisasi Generator Secara Otomatis Di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Saputra, W. S., & Sari, N. K. (2018). Prototype of Synchronous Double Brushless Direct Current Motor. Nusantara Science and Technology Proceedings, 456-461.
- Setia Graha, 2014. Power management PLN-Genset pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin. Volume 6, No. 2, Desember 2014 : 55 - 102
- Wijaya, F. D., Firmansyah, E., & Pamungkas, L. (2016). Digital Synchronoscope Prototype Based on STM32F401 Nucleo. Proceedings, Department of Electrical Engineering, The University of Gadjah Mada, Yogyakarta.